

明 細 書

外部共振器型半導体レーザー

技術分野

- 5 この発明は、青色レーザーダイオードを含む外部共振器型半導体レーザーに関する。

背景技術

- 10 近年、半導体レーザーは、小型でかつ低消費電力である等の理由から、情報機器に多く使われるようになってきた。こうした半導体レーザーのなかには、外部から所定の波長の光を入射することによって半導体レーザーの発振光の波長を安定化する外部共振器型半導体レーザーがある。

- 15 ここで、代表的なL i t t r o w型の半導体レーザーについて、第1図を参照して説明する。例えば、レーザーダイオード100のような半導体レーザー素子から出射された縦多モードのレーザー光がレンズ（コリメートレンズ）101によって平行に集められ、グレーティング102に入射される。グレーティング102は、その配置角度に応じて、入射した光のうち、特定の波長を有する光を1次回折光103として出力する。この1次回折光103は、レンズ101を介してレーザーダイオード100
- 20 に逆注入される。この結果、レーザーダイオード100が、注入された1次回折光に共振して単一モードの光を出射するようになり、その光の波長は、グレーティング102からの1次回折光103の波長と同じになる。さらに、グレーティング102に入射したレーザー光の残りは、0次光104となり、入射角と同じ角度で反射される。
- 25 ここで、従来より市販されている代表的な外部共振器型半導体レーザーを含むレーザーシステムの構成を、第2図および第3図を参照して説明す

る。第2図は、レーザシステム120の平面図であり、第3図は、第2図に示す矢印Cの方向に沿って見たレーザシステム120の正面図である。このレーザシステム120の構成は、文献L. Ricci, et al. : "A compact grating-stabilized diode laser system for atomic physics", Optics Communications, 117 1995, pp541-549に記載されたレーザシステムの構成と同様のものである。

第2図および第3図に示すレーザシステム120は、レーザダイオード121、レンズ（コリメートレンズ）122、グレーティング123、第1支持部124、第1ネジ125、第1溝126、第2支持部127、第2ネジ128、および第2溝129を含むレーザ部130と、ペルチェ素子141、ヒートシンク142を含む温度制御部143からなる。

第2図および第3図から分かるように、レーザシステム120は、レンズ122、グレーティング123等の光学部品をレーザシステム120の設置面に対して水平に配置しており、レーザ光の光路は、当該設置面に対してほぼ水平となる。さらに、温度制御部143がレーザ部130の下側に配置されている。温度制御部143によって温度が制御されているのは、レーザダイオード121、レンズ122等のレーザ部130の各構成要素である。また、温度制御部143によりレーザダイオード121の温度が一定に保たれることによって光源の安定化が図られる。

レーザシステム120はまた、第1図に示したように、グレーティング123の配置角度を変えることにより、グレーティング123からレーザダイオード121へ向かう1次回折光の波長が変化し、その結果、レーザダイオード121の発振光の波長が調整される。グレーティング123で反射した0次光Dは、外部への出射光となる。

グレーティング123は、第1支持部124に保持されている。第1支持部124には第1溝126が設けられており、同じく第1支持部1

24に設けられた第1ネジ125を回転させることにより、第1溝126の間隔が部分的に広がり、あるいは狭まり、それによってグレーティング123の水平方向の配置角度が僅かに変化する。

同様の機構が、グレーティング123の垂直方向の角度を調整するために設けられている。グレーティング123を保持する第1支持部124は、第2支持部127に保持されている。第2支持部127には第2溝129が設けられており、同じく第2支持部127に設けられた第2ネジ128を回転させることにより、第2溝129の間隔が部分的に広がり、あるいは狭まり、それによって第1支持部124およびグレーティング123の垂直方向の配置角度が僅かに変化する。

ここで、レーザダイオード121として青色レーザダイオードを使用したものが、いくつかのメーカーによって開発され、光ディスク等に使用され始めている。また、上記のように、外部共振器を備えたレーザシステムを構成することによって、単一モードのシングル性のレーザ光が要求されるホログラフィメモリ用ライタ等の用途にも利用可能となってきた。

また、市販されている同型のレーザシステムの最大出力は、カタログ上、15mWまでである。

しかしながら、外部共振器型半導体レーザを実際にホログラフィメモリ用ライタ等の用途に利用するためには、30mW以上のレーザ出力が必要とされ、従来の外部共振器型半導体レーザは、このような出力レベルには到達していない。

また、外部共振器型半導体レーザは、外部共振器によって単一モードを実現させているが、様々な要因によって十分な単一モード特性が得られない場合がある。

従って、この発明の目的は、従来の外部共振器型半導体レーザより出

力が大きく、または良好な単一モード特性が得られるという2つの特徴を有する外部共振器型半導体レーザ、あるいは上記特徴のうち1つを有する外部共振器型半導体レーザを提供することにある。

さらに、この発明の目的は、外部に射出されるレーザ光の出力が30 mW以上であり、ホログラフメモリ用ライタ等の用途に利用可能な外部共振器型半導体レーザを提供することにある。

発明の開示

この発明は、活性層を含む複数の層を有する半導体レーザ素子と、半導体レーザ素子の発光面に対向して設けられる窓ガラスと、半導体レーザ素子から出射され、窓ガラスを通過した光を受光し、受光した光のうち特定の波長を半導体レーザ素子に戻すように配置されたグレーティングと、半導体レーザ素子とグレーティングとの間に配置され、半導体レーザ素子からの光を集光するレンズとを有し、窓ガラスが、半導体レーザ素子の活性層と他の層との境界面の少なくとも1つと平行な面に対してほぼ垂直な第1の軸に対して平行となり、半導体レーザ素子の活性層と他の層との境界面の少なくとも1つに対してほぼ平行で、半導体レーザ素子の発光面に対してほぼ平行で、かつ第1の軸と直交する第2の軸に対して平行とならない第1の状態、または第1の軸に対して平行とならず、かつ第2の軸に対してほぼ平行となる第2の状態で配置されるように構成される外部共振器型半導体レーザである。

この発明は、活性層を含む複数の層を有するレーザダイオードと、レーザダイオードの発光面に対向して設けられる窓ガラスと、レーザダイオードから出射され、窓ガラスを通過した光を受光し、当該受光した光のうち特定の波長をレーザダイオードに戻すように配置されたグレーティングと、レーザダイオードとグレーティングとの間に配置され、レー

ザダイオードからの光を集光するレンズとを有し、窓ガラスが、レーザダイオードの活性層と他の層との境界面の少なくとも1つと平行な面に対してほぼ垂直な第1の軸に対して平行となり、レーザダイオードの活性層と他の層との境界面の少なくとも1つに対してほぼ平行で、レーザダイオードの発光面に対してほぼ平行で、かつ第1の軸と直交する第2の軸に対して平行とならない第1の状態、または第1の軸に対して平行とならず、かつ第2の軸に対してほぼ平行となる第2の状態で配置され、レーザダイオードが、グレーティングに対してS波を提供するように、レーザダイオードおよびグレーティングの配置が決定され、レーザダイオードが、少なくとも45mWの出力パワーを備え、少なくとも45mW以下の出力パワーで光を出射している場合にキンク(kink)を発生しないように構成され、レーザダイオードの発光面の反射率が3%以下であり、レンズの開口数が0.3ないし0.7であり、外部共振器長が、10mmないし30mmであり、グレーティングの1次回折光の反射率が、10%ないし30%であるように構成される外部共振器型半導体レーザである。

図面の簡単な説明

第1図は、外部共振器型半導体レーザの動作原理を説明するための略線図である。

第2図は、従来のレーザシステムの構成を示す略線図である。

第3図は、第2図のレーザシステムの側面の構成を示す略線図である。

第4図は、一般的なレーザダイオードおよび関連要素を示す略線図である。

第5図は、第4図のレーザダイオードおよび関連要素を別の角度から見た略線図である。

第 6 図は、単一モードが実現されていない場合の、波長と出力パワーの関係を示すグラフである。

第 7 図は、この発明による外部共振器型半導体レーザの一例を示す略線図である。

5 第 8 図は、この発明による外部共振器型半導体レーザの他の例を示す略線図である。

第 9 図は、この発明によって単一モードが実現されている場合の、波長と出力パワーの関係を示すグラフである。

第 10 図は、キンク発生の例を表すグラフである。

10 第 11 図は、キンクの発生を抑止するためのレーザダイオードの構成例を示す略線図である。

発明を実施するための最良の形態

この発明は、半導体レーザ素子を含む外部共振器型半導体レーザの構成にいくつかの改良を加え、出力の増大、単一モード特性の向上を実現するものである。ここでは、外部共振器型半導体レーザとは、例えば、レーザダイオードといった半導体レーザ素子を用いた半導体レーザ、レンズ、およびグレーティングが、第 1 図に示すような位置関係に配置されたものを指す。また、レーザダイオードとしては、例えば、波長 395 nm から 415 nm の青色レーザダイオードが用いられる。以降では、この発明に係る上記改良について順に説明する。

[1. 窓ガラスの傾斜角度の最適化—多重反射の抑止]

第 1 の改良点は、半導体レーザの窓ガラスを所定の方向に所定の角度だけ傾斜させることである。第 4 図は、一般的なレーザダイオード（半導体レーザ素子）1 と、半導体レーザ内の関連する構成要素を概略的に示したものである。レーザダイオード 1 は、レーザ光の発光部を含む活

性層 2 と、活性層 2 の上下にある層 3 および層 4 から構成される。層 3 は、例えば、P 型クラッド層およびコンタクト層等からなり、層 4 は、N 型クラッド層およびガイド層等からなる。また、半導体レーザ素子の低アスペクト比実現のため、P 型クラッド層と活性層 2 の間に、電子障壁層および中間層を導入しても良い。

さらに、レーザダイオード 1 の下側には、レーザダイオード 1 の動作時の発熱を熱伝導によって拡散させるヒートシンク 5 が配置されている。ヒートシンク 5 の材料としては、熱伝導が高く、かつ電気絶縁性、熱膨張性にすぐれた材料が必要となる。

10 活性層 2 の発光面 8 からのレーザ光 7 は、窓ガラス 6 を介して外部に放射される。赤等のレーザダイオードを用いた外部共振器型半導体レーザでは、窓ガラス 6 を外して使用することが可能であるが、青色レーザダイオードをそのようにすると、劣化する恐れがある。そのため、窓ガラス 6 は、レーザダイオード 1 を外部の空気から遮断するように、レーザダイオードを密閉する。

第 5 図は、第 4 図で示したレーザダイオード 1 と、ヒートシンク 5、窓ガラス 6 等を別の角度から示した図である。ここで、第 4 図を正面図とすれば、第 5 図は平面図になる。すなわち、第 2 図に示したレーザシステム 120 におけるレーザダイオード 121 の構成が第 4 図に示すものとなり、第 3 図に示したレーザシステム 120 におけるレーザダイオード 121 の構成が第 5 図に示すものとなる。レーザダイオード 1 からのレーザ光 7 は窓ガラス 6 を介して、外部に放出される。また、第 4 図に示す活性層 2 の発光面 8 の形状が長方形の場合は、小さい方の辺の広がり角が大きくなるので、レーザ光 7 のビームの断面形状は一般的に楕円形となる。

従来では、第 4 図および第 5 図に示すように、窓ガラス 6 と活性層 2

の発光面 8（レーザ端面）が平行とされていたために、窓ガラスによる反射が生じ、これらの間の多重反射により、単一モード特性が劣化する問題があった。このときの波長とレーザダイオード 1 の出力パワーの関係が、第 6 図に示されている。第 6 図の横軸は波長（nm）であり、縦軸は出力パワー（ μW ）である。ただし、縦軸の値は、測定器の入力部である光ファイバが受光したパワーであり、レーザが実際に発光している値の数千分の 1 程度の値である。

第 6 図に示すように、波長が 408.00 nm となる近辺で出力パワーが一気に上昇しており、この部分だけを見れば良好な単一モード特性を示しているように見える。しかしながら、波長が 408.00 nm から 408.50 nm の間において、最大で 0.1 μW 程度の出力パワーのレーザ光がいくつか計測されており、全体としては単一モードが実現されていないと判断される。

そこで、この発明は、この窓ガラスによる多重反射を抑止するため、窓ガラスを所定の方向に所定の角度だけ傾斜させるものである。第 7 図は、このようにして改良された外部共振器型半導体レーザの第 1 の例を示している。第 1 の例は、第 4 図と同じ方向、すなわち、第 7 図 A に示すように、レーザダイオード 11 から窓ガラス 16 を通ったレーザ光が第 2 図に示すように、傾斜して取り付けられたグレーティング 123 に対して入射される。

レーザダイオード 11 は、レーザ光の発光部を含む活性層 12 と、活性層 12 の上下にある層 13 および層 14 から構成される。層 13 は、例えば、P 型クラッド層およびコンタクト層等からなり、層 14 は、N 型クラッド層およびガイド層等からなる。また、半導体レーザ素子の低アスペクト比実現のため、P 型クラッド層と活性層 12 の間に、電子障壁層および中間層を導入しても良い。

さらに、レーザダイオード 11 の下側には、レーザダイオード 11 の動作時の発熱を熱伝導によって拡散させるヒートシンク 15 が配置されている。ヒートシンク 15 の材料としては、熱伝導が高く、かつ電気絶縁性、熱膨張性にすぐれた材料が必要となる。

- 5 活性層 12 の発光面 19 からのレーザ光 17 は、窓ガラス 16 を介して外部に放射される。赤等のレーザダイオードを用いた外部共振器型半導体レーザでは、窓ガラス 16 を外して使用することが可能であるが、青色レーザダイオードをそのようにすると、劣化する恐れがある。そのため、窓ガラス 16 は、レーザダイオード 11 を外部の空気から遮断する
10 るように、レーザダイオード 11 が円筒型のカン 21 内に密閉されている。

- 第 7 図 B は、この発明の第 1 の例を概略的に示し、第 7 図 B に示す第 1 の軸 18 A は、レーザダイオード 11 の活性層 12 と他の層との境界面の少なくとも 1 つと平行な面に対してほぼ垂直であり、第 2 の軸 18
15 B は、レーザダイオード 11 の活性層 12 と他の層との境界面の少なくとも 1 つに対してほぼ平行で、レーザダイオード 11 の発光面 19 に対してほぼ平行で、かつ第 1 の軸 18 A と直交する。

- この例では、窓ガラス 16 の面を、第 2 の軸 18 B に対しては平行で、かつ第 1 の軸 18 A に対しては平行とならないように、レーザダイオード 11 の発光面 19 に対して傾斜させる。ここで、第 1 の軸 18 A と窓
20 ガラス 16 の面のなす角を A とする。この場合 A は、例えば、 1° といった僅かな角度である。

- 例えば、窓ガラス 16 の面を第 1 の軸 18 A に対して 1.6° 傾けると、すなわち、A を 1.6° にすると、波面収差が 0.15λ P-V (peak to valley) となってしまう実用にならない。その意味では、窓ガラス 16 の面の傾斜角度 A の許容範囲は極めて狭い。また、第 7 図 B の例
25

では、窓ガラス 16 は、上側の方がレーザダイオード 11 に近くなるように傾けられているが、逆に、下側の方をレーザダイオード 11 に近づけるように傾けることもできる。

なお、波面収差について説明すると、通常、点光源から発した光は、
5 等位相球面波として伝搬するが、光学系に収差が存在する場合には、像空間での等位相波面は球面波ではなくなる。この球面波からのズレが総括して球面収差と呼ばれる。P-V は、波面の乱れの頂上と底の差を意味し、 0.15λ P-V とは、その差が 1 波長 λ （例えば 410 nm ）の 0.15 倍であることを意味する。

10 第 8 図には、窓ガラスを所定の方向に所定の角度だけ傾斜させる第 2 の例が示されている。第 8 図 A に示すように、第 2 の例は、レーザダイオード 11 から窓ガラス 16 を通ったレーザ光が第 3 図に示すように、傾斜して取り付けられたグレーティング 123 に対して入射される。また、第 8 図に示すレーザダイオード 11 は、第 7 図に示すレーザダイオード 11 と同様、活性層 12、および層 13、14 に対応する複数の層
15 を有する構造となっている。

第 8 図 B は、この発明の第 2 の例を概略的に示し、第 8 図 B に示す第 1 の軸 18A は、レーザダイオード 11 の活性層と他の層との境界面の少なくとも 1 つと平行な面に対してほぼ垂直であり、第 2 の軸 18B は、
20 レーザダイオード 11 の活性層と他の層との境界面の少なくとも 1 つに対してほぼ平行で、レーザダイオード 11 の発光面 19 に対してほぼ平行で、かつ第 1 の軸 18A と直交する。

第 2 の例では、窓ガラス 16 の面を、第 1 の軸 18A に対しては平行で、かつ第 2 の軸 18B に対しては平行とならないように傾斜させる。
25 ここで、第 2 の軸 18B と窓ガラス 16 の面のなす角を B とする。

この B を、例えば、 5° 以上とすると、多重反射が減少し、良好な単

一モード特性が得られる。ただし、窓ガラス 16 を傾斜しすぎると、窓ガラス 16 による収差が大きくなり、レーザの収差特性が劣化する。

1/e²の領域、すなわち、中心に対して、光強度が 1/e²に落ちた周辺の領域において、波面収差を 0.15λ P-V 以下とするには、上記傾斜角度を 1.2° 以下に抑える必要があり、さらに、0.1λ P-V 以下とするには、8° 以下に抑える必要がある。また、第 8 図の例では、窓ガラス 16 は、上側の方がレーザダイオード 11 に近くなるように傾けられているが、逆に、下側の方をレーザダイオード 11 に近づけるように傾けることもできる。

10 前述のように、青色レーザダイオードは、密封していないとレーザダイオードの劣化を招くので、通常は窓ガラスは必須の構成要素となる。この改良は、そのような構成において、良好な単一モード特性を提供する。

第 9 図は、窓ガラスを第 8 図に示す態様で 6° 傾斜させた場合、すなわち、B = 6° の、波長と出力パワーとの関係を示すグラフである。波長 406.94 nm 付近を中心に良好な単一モード特性が得られていることが分かる。

[2. グレーティング入射波の最適化—グレーティングの反射率の向上]

20 レーザダイオードから出射されるレーザ光のうち、グレーティングで反射する 0 次光は、外部へ出射されるが、この 0 次光が、ホログラフィメモリ用ライタ等、様々な用途に利用されるので、大きなパワーである方が好ましい。この 0 次光は、ミラーのように反射するので、これが S 波か P 波かによって反射率が大きく異なる。

25 P 波には、ブリュスターアングルが存在し、上記外部共振器型半導体レーザの構成のように、グレーティングに対して斜めに入射する場合は

反射率が低い。これとは逆に、S波は斜め入射によって反射率が上がる。従って、グレーティングにはS波を入射させるようにすることによって、より大きなパワーを得ることができる。このように、S波をグレーティングに入射させるには、半導体レーザの偏光方向とグレーティングの反射方向を考慮して両者の配置を調整することにより行われる。

[3. レーザダイオードの構造の最適化—キンクの排除]

最終的に得られる単一モードのレーザ光の光源は、第4図に示すようなレーザダイオード1であるため、レーザダイオード1には、要求されるレーザ光のパワー以上の出力パワーを求められる。すなわち、レーザダイオード1は単独で、すなわち、フリーランの状態、レーザ光のパワー以上の出力パワーで発光している必要がある。

実験によれば、外部に射出されるレーザ光のパワーは、窓ガラス、レンズ（コリメートレンズ）、グレーティングを経由する等の要因により、レーザダイオード1の出力パワーの2/3程度になる。上述のように、ホログラフィメモリ用ライタ等の用途では、単一モードで30 mW以上のパワーが必要であるから、少なくとも必要とされるレーザダイオード1の出力パワーは、以下の式1によって求めることができる。

$$30 \text{ (mW)} \times 3/2 = 45 \text{ (mW)}$$

・・・ (式1)

なお、レーザダイオード1の出力パワーの残りの1/3の大半は、グレーティングの1次回折光となってレーザダイオード1に戻るため、外部に出射されない。

上述のように、最終的に得られる単一モードのレーザ光として30 mW以上のパワーを得るために、レーザダイオード1は45 mW以上の出力パワーを必要とする。しかしながら、このパワーの全ての範囲に亘ってキンクが存在してはならない。キンクとは、モードの境界であり、キ

5 ンク以下のパワーでは横単一モードのみの発光であったものが、キンク以上では、横多モードが混在する。横多モードが混在し始めると、外部共振器によって単一モードを実現するのは難しくなるので、上記レーザダイオード 1 に求められる 4 5 mW の全ての範囲でキンクが存在しないことが望ましい。

第 10 図は、レーザダイオード 1 の、電流 (mA) と出力パワー (mW) との関係を示したグラフであり、この例では、キンクが出力パワー 20 mW 付近に存在する。グラフから分かるように、レーザダイオード 1 は、最初、ある程度電流を上げてても出力パワーはゼロのままである。

10 電流が約 30 mA になると、出力パワーが上昇し始め、以降は、基本的に、電流の上昇に比例して出力パワーが上昇する。しかしながら、出力パワーが 20 mW 付近 (電流が約 50 mA) において、電流が上昇しても出力パワーが上昇しない箇所がある。これは、レーザダイオード 1 が同じ波長のレーザ光を出力しながらも、モードが変化したことを示して

15 おり、ここがキンクとなる。

こうしたキンクの存在は、上述のように、単一モード実現のためには好ましくなく、存在を排除するか、または、存在しても出力パワーが 4 5 mW 以上の箇所であるようにする必要がある。

そのために、レーザダイオード 30 のチップ構造を第 11 図に示すように構成する。この構成は、「100mW・キンクフリー、低アスペクト比青紫色半導体レーザ」、水野 崇 他、Proceedings of the 11th Sony Research Forum (2001) で提案されているものである。

20 上に構成する。この構成は、「100mW・キンクフリー、低アスペクト比青紫色半導体レーザ」、水野 崇 他、Proceedings of the 11th Sony Research Forum (2001) で提案されているものである。

この構成では、サファイア基板 31 上に、ELO (Epitaxial Lateral Overgrowth) により低欠陥密度領域を有する n-GaN 層 33 を作

25 製した後、Nクラッド層 34、ガイド層 35、活性層 36、中間層 37、電子障壁層 38、Pクラッド層 39、コンタクト層 41 を連続的に結晶

成長する。ここで、例えば、Nクラッド層34は、 $n\text{-AlGaInN}$ クラッド層、ガイド層35は、 $n\text{-GaInN}$ ガイド層、活性層36は、 GaInN 多重量子井戸活性層、中間層37は、 GaInN 中間層、電子障壁層38は、 $p\text{-AlGaInN}$ 電子障壁層、Pクラッド層39は、 $p\text{-GaInN}$ クラッド層、コンタクト層41は、 $p\text{-GaInN}$ コンタクト層である。また、P電極43には、例えば、 Pd/Pt/Au を、N電極42には、 Ti/Pt/Au を採用している。

さらに、この構成では、コンタクト層（リッジ）41の側面を、例えば、 SiO_2 層と Si 層といった2層構造の絶縁膜で埋め込んだ、リッジ側面埋め込み層40が形成されている。横単一モードのレーザ光は、レーザダイオード30の各層の境界の方向に沿って拡散する（広がる）ことは少ないが、横多モードのレーザ光は当該方向に拡散する。従って、リッジ側面埋め込み層40は、横単一モードのレーザ光をほとんど吸収せず、横多モードのレーザ光を選択的に吸収する。その結果、キングの発生が抑止され、悪くても出力パワーの高い位置で発生するようになる。

また、ここでは、概ねコンタクト層の幅に対応するストライプ幅 W は、 $1.6\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。この幅が狭いと、横多モードのレーザ光が存在し難くなるためである。

[4. レーザダイオード発光端面の反射率の適正化－1次回折光の効率的な受光]

第4図に示すようなレーザダイオード1の発光部の材質は屈折率が高いので、発光面8で外部からの光を反射する特性がある。しかしながら、この反射率は表面にコーティングを施すことにより、ほぼ0%にまで下げることができる。発光面8は、グレーティングからレーザダイオード1に戻ってきた1次回折光を受光する面であり、この発光面8の反射率が高くなるほど、当該1次回折光の受光量が減少する。

実験では、0%ないし10%の反射率の発光面を用いることによってレーザ光の単一モードが実現された。ただし、この中でも、反射率の高い発光面では、単一モード化するための調整が困難であり、反射によって、グレーティングから戻ってきた1次回折光を無駄にしている部分が多い。一方、あまり低い反射率の発光面を要求すると、コーティングをする際の歩留まりが低下する危険性がある。これらを総合的に考慮すると、レーザダイオード1の発光面の反射率は3%以下が望ましい。

[5. コリメートレンズの開口数の適正化－1次回折光の効率的な受光]

10 コリメートレンズは、第2図、第3図から分かるように、レーザダイオードとグレーティングの間に配置されるレンズである。コリメートレンズの開口数 (N.A.: Numerical Aperture) が例えば、0.19といった小さな値であると、グレーティングから戻った1次回折光が、このコリメートレンズであまり絞られず、ある程度広がった状態でレーザダイオードの発光面8に受光され、1次回折光の一部しかレーザダイオードに戻ってこない。その結果、単一モードの実現が困難になる。

これが、例えば、0.4や0.6といった開口数の場合、単一モード化は容易である。また、より開口数の高いレンズでも単一モード化が容易であると予想できるが、高開口数のレンズは作製が困難である。これら
20 を総合的に考慮すると、コリメートレンズの開口数は、0.3ないし0.7程度が望ましい。

[6. 外部共振器長の最適化]

外部共振器長とは、第2図、第3図に示されるような外部共振器型半導体レーザにおいて、例えば、レーザダイオードのような半導体レーザ素子からグレーティングまでの距離のことである。10mm、15mm、
25 20mm、25mm、30mmの各距離で実験を行った結果、いずれの

距離においても同等の安定性が得られた。このことから、外部共振器長は、10 mmないし30 mmが好ましい。ここで、外部共振器長は、窓ガラス、レンズの屈折率等を考慮した光学距離を表す。

また、理論上は、外部共振器長の短い方が他のモードに変わってしまうモードホップが発生し難い。従って、これらを考慮すると、設計上の支障がなければ、外部共振器長を10 mmないし20 mmとすることが、より好ましい。

[7. グレーティングの1次回折光反射率の最適化]

1 次回折光の反射率が20%および40%のグレーティングについてそれぞれ実験をすると、単一モード化に関してはほぼ同等の特性が得られた。1 次回折光は、前述のように、レーザダイオードに戻して単一モード化させるために利用されるので、ある程度の光量は必要だが、多すぎるとレーザダイオードへのダメージや出射光（0次光）の減少につながる。そのため、適切な反射率として10%ないし30%を設定する。

これまで、青色レーザダイオードを用いた外部共振器型半導体レーザを例に説明してきたが、第3の改良（レーザダイオードの構造の最適化—キングの排除）を除く、全ての改良を、他の半導体レーザ素子を用いた外部共振器型半導体レーザに適用することも可能である。

また、これまで説明してきたそれぞれの改良は、従来の外部共振器型半導体レーザより大きな出力を実現すること、および良好な単一モード特性が得られることの両方あるいは一方を目的としたものであり、理想的な外部共振器型半導体レーザを実現するためには、上記全ての改良を全て組み合わせて実施することが望ましい。しかしながら、これらのうち1つを単独で、あるいは、これらのうちいくつかを任意に組み合わせることによっても、上記目的をある程度まで達成することができる。

この発明によれば、従来の外部共振器型半導体レーザより出力が大き

- く、良好な単一モード特性が得られるという２つの特徴を備えた外部共振器型半導体レーザ、あるいは、この２つの特徴のうち１つを備えた外部共振器型半導体レーザが提供される。さらに、この発明によれば、外部に射出されるレーザ光の出力が３０ｍＷ以上であり、ホログラフィメモリ用ライタ等の用途に利用可能な外部共振器型半導体レーザが提供される。
- 5

請 求 の 範 囲

1. 活性層を含む複数の層を有する半導体レーザ素子と、
前記半導体レーザ素子の発光面に対向して設けられる窓ガラスと、
前記半導体レーザ素子から出射され、前記窓ガラスを通過した光を受
5 光し、当該受光した光のうち特定の波長を前記半導体レーザ素子に戻す
ように配置されたグレーティングと、
前記半導体レーザ素子と前記グレーティングとの間に配置され、前記
半導体レーザ素子からの光を集光するレンズとを有し、
前記窓ガラスが、
10 前記半導体レーザ素子の前記活性層と他の層との境界面の少なくとも
1つと平行な面に対してほぼ垂直な第1の軸に対して平行となり、前記
半導体レーザ素子の前記活性層と他の層との前記境界面の少なくとも1
つに対してほぼ平行で、前記半導体レーザ素子の前記発光面に対してほ
ぼ平行で、かつ前記第1の軸と直交する第2の軸に対して平行とならな
15 い第1の状態、
または前記第1の軸に対して平行とならず、かつ前記第2の軸に対し
てほぼ平行となる第2の状態で配置されることを特徴とする外部共振器
型半導体レーザ。
2. 請求の範囲1に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、
20 前記窓ガラスが、前記第1の状態で配置され、
前記窓ガラスの面と前記第2の軸のなす角度が 5° ないし 12° であ
ることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。
3. 請求の範囲1に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、
前記窓ガラスが、前記第2の状態で配置され、
25 前記窓ガラスの面と前記第1の軸のなす角度が 1° ないし 1.6° で
あることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。

4. 請求の範囲 1 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、
前記半導体レーザ素子が、前記グレーティングに対して S 波を提供するように、前記半導体レーザ素子および前記グレーティングの配置が決定されていることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。
5. 請求の範囲 1 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、
前記半導体レーザ素子が、少なくとも 45 mW の出力パワーを備え、少なくとも 45 mW 以下の出力パワーで光を出射している場合にキンクを発生しないように構成されていることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。
6. 請求の範囲 5 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、
前記半導体レーザ素子がレーザダイオードであり、
前記レーザダイオードは、キンクの発生を抑止するために、リッジの側面が 2 層構造の絶縁膜で埋め込まれており、ストライプ幅 W が 1.6 μm 以下であることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。
7. 請求の範囲 1 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、
前記半導体レーザ素子がレーザダイオードであり、
前記レーザダイオードの発光面の反射率が 3 % 以下であることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。
8. 請求の範囲 1 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、
前記レンズの開口数が 0.3 ないし 0.7 であることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。
9. 請求の範囲 1 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、
外部共振器長が、10 mm ないし 30 mm であることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。
10. 請求の範囲 9 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、
外部共振器長が、10 mm ないし 20 mm であることを特徴とする外

部共振器型半導体レーザ。

1 1. 請求の範囲 1 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、

前記グレーティングの 1 次回折光の反射率が、10%ないし30%であることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。

5 1 2. 請求の範囲 1 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、

前記半導体レーザ素子が、青色レーザダイオードであることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。

1 3. 活性層を含む複数の層を有するレーザダイオードと、

前記レーザダイオードの発光面に対向して設けられる窓ガラスと、

10 前記レーザダイオードから出射され、前記窓ガラスを通過した光を受光し、当該受光した光のうち特定の波長を前記レーザダイオードに戻すように配置されたグレーティングと、

前記レーザダイオードと前記グレーティングとの間に配置され、前記レーザダイオードからの光を集光するレンズとを有し、

15 前記窓ガラスが、

前記レーザダイオードの前記活性層と他の層との境界面の少なくとも1つと平行な面に対してほぼ垂直な第1の軸に対して平行となり、前記レーザダイオードの前記活性層と他の層との前記境界面の少なくとも1つに対してほぼ平行で、前記レーザダイオードの前記発光面に対してほぼ平行で、かつ前記第1の軸と直交する第2の軸に対して平行とならない第1の状態、

または前記第1の軸に対して平行とならず、かつ前記第2の軸に対してほぼ平行となる第2の状態で配置され、

25 前記レーザダイオードが、前記グレーティングに対してS波を提供するように、前記レーザダイオードおよび前記グレーティングの配置が決定され、

前記レーザダイオードが、少なくとも 45 mW の出力パワーを備え、
少なくとも 45 mW 以下の出力パワーで光を出射している場合にキンク
を発生しないように構成され、

前記レーザダイオードの発光面の反射率が 3 % 以下であり、

5 前記レンズの開口数が 0.3 ないし 0.7 であり、

外部共振器長が、10 mm ないし 30 mm であり、

前記グレーティングの 1 次回折光の反射率が、10 % ないし 30 % で
あることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。

14. 請求の範囲 13 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、

10 前記レーザダイオードが、青色レーザダイオードであることを特徴と
する外部共振器型半導体レーザ。

15. 請求の範囲 13 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、

前記窓ガラスが、前記第 1 の状態で配置され、

15 前記窓ガラスの面と前記第 2 の軸のなす角度が 5° ないし 12° であ
ることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。

16. 請求の範囲 13 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、

前記窓ガラスが、前記第 2 の状態で配置され、

前記窓ガラスの面と前記第 1 の軸のなす角度が 1° ないし 1.6° で
あることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。

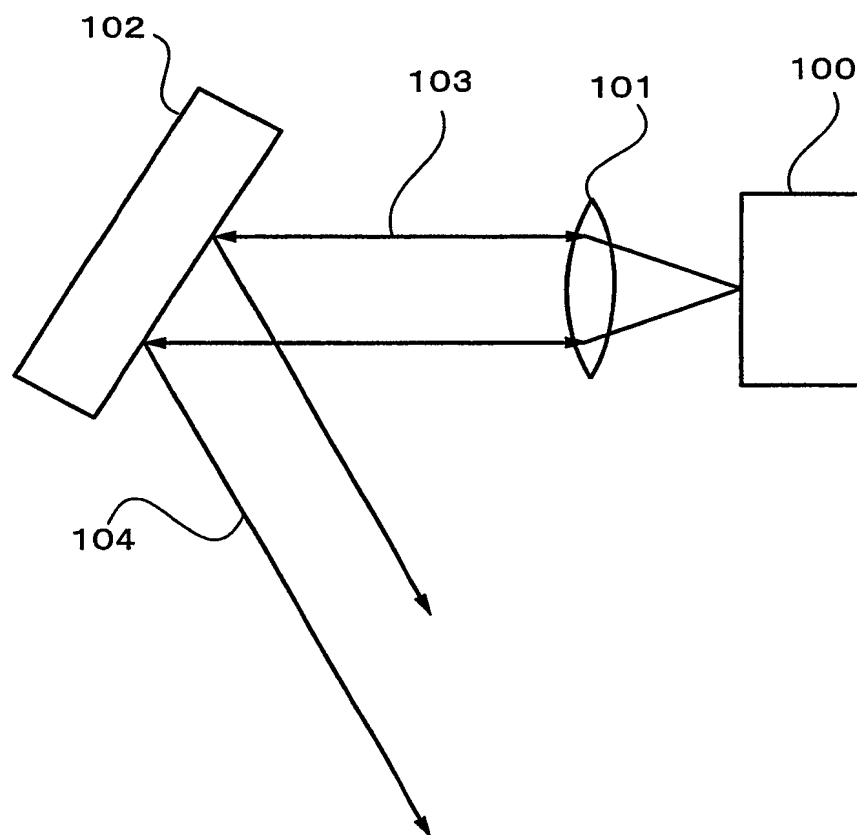
20 17. 請求の範囲 13 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、

前記レーザダイオードは、キンクの発生を抑止するために、リッジの
側面が 2 層構造の絶縁膜で埋め込まれており、ストライプ幅 W が 1.6
 μm 以下であることを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。

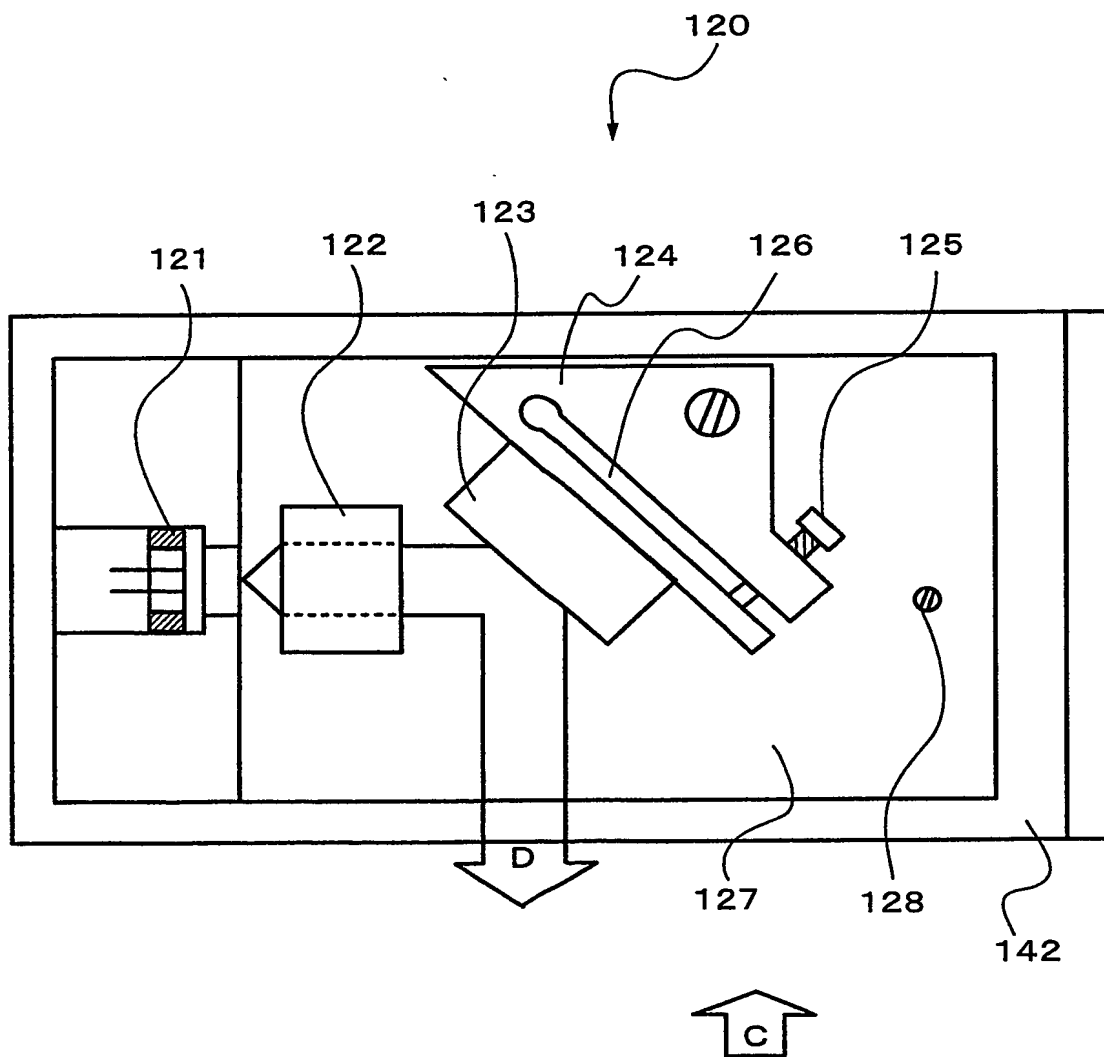
18. 請求の範囲 13 に記載の外部共振器型半導体レーザにおいて、

25 外部共振器長が、10 mm ないし 20 mm であることを特徴とする外
部共振器型半導体レーザ。

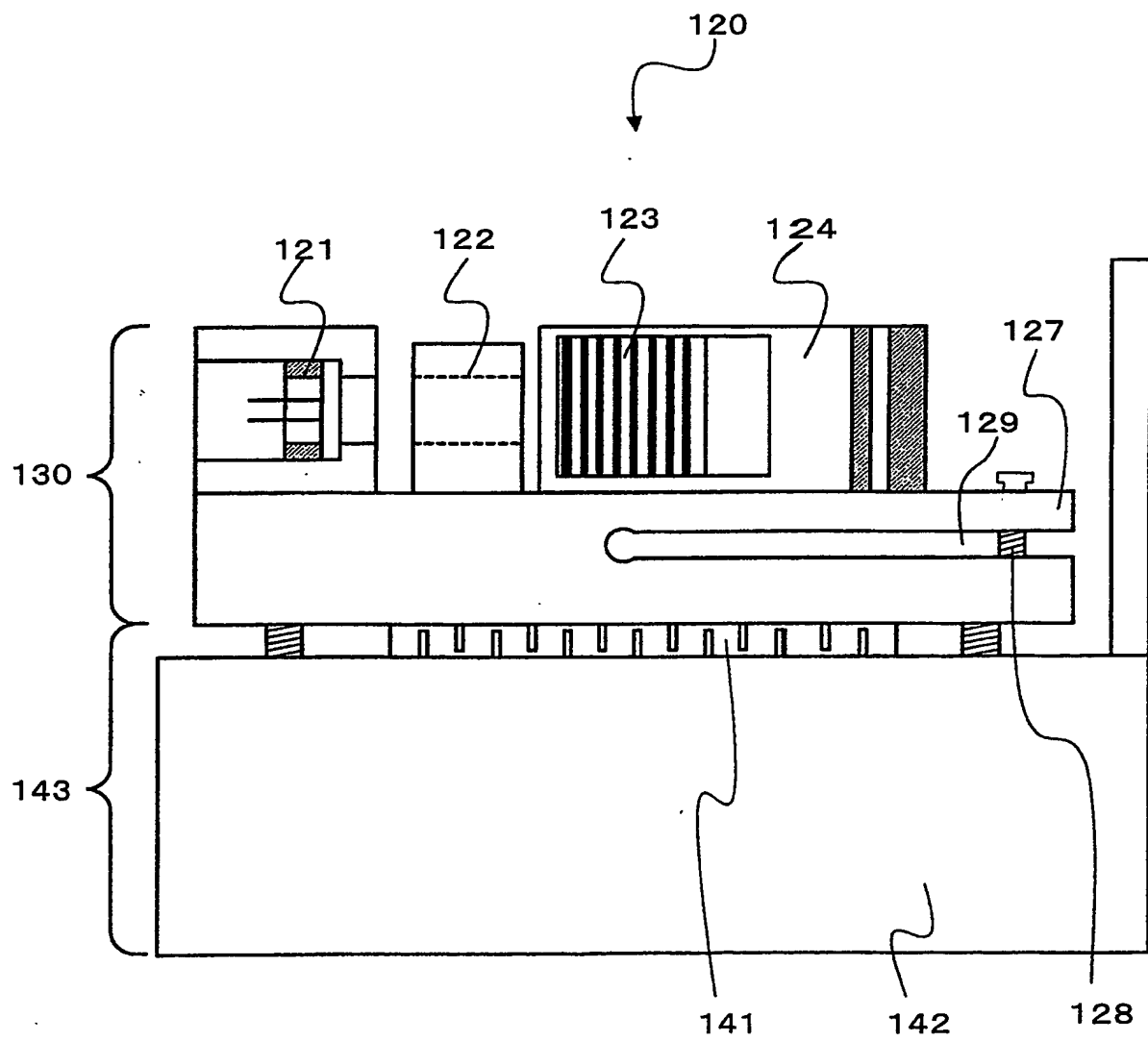
第1図



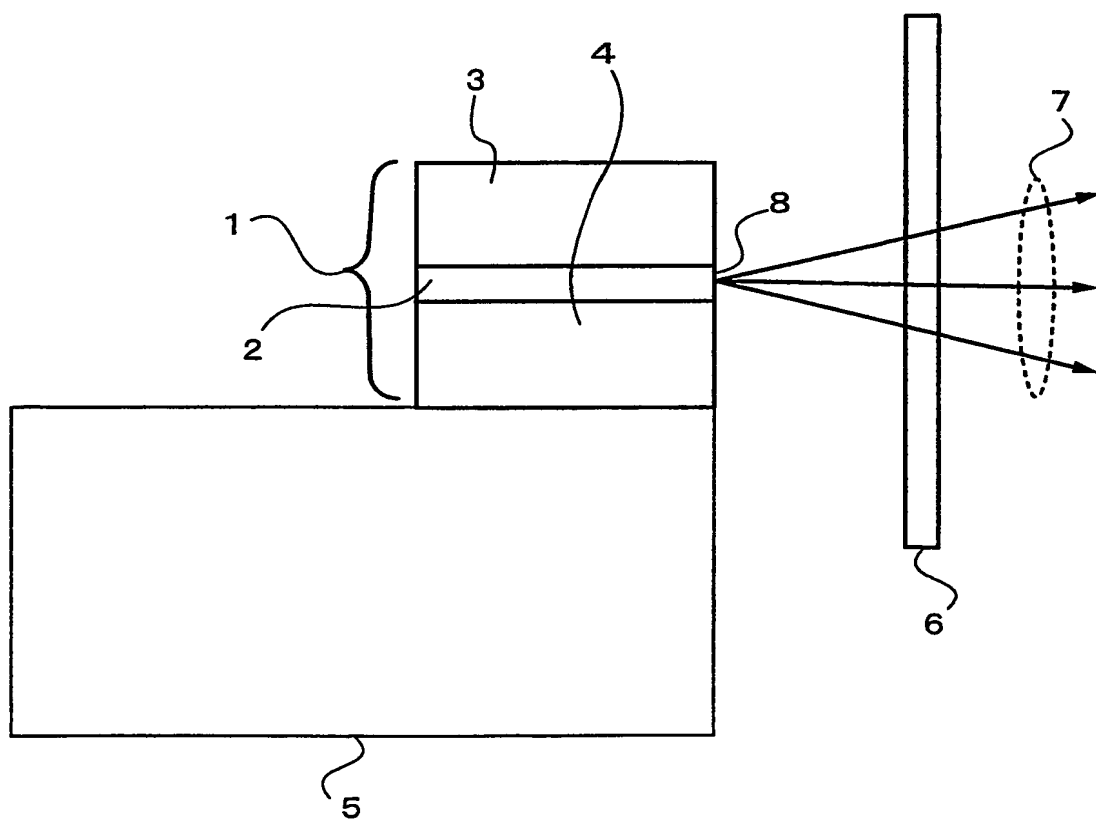
第 2 図



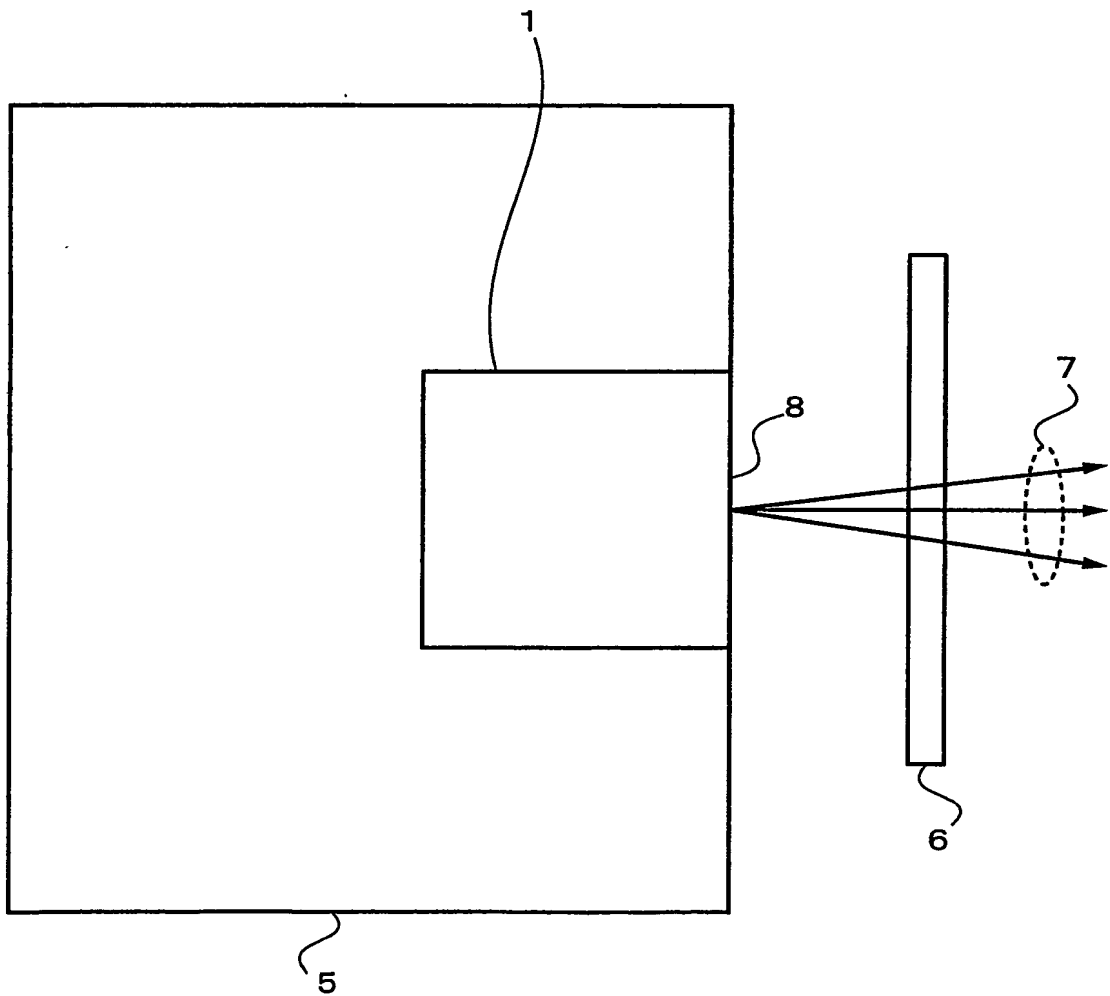
第 3 図



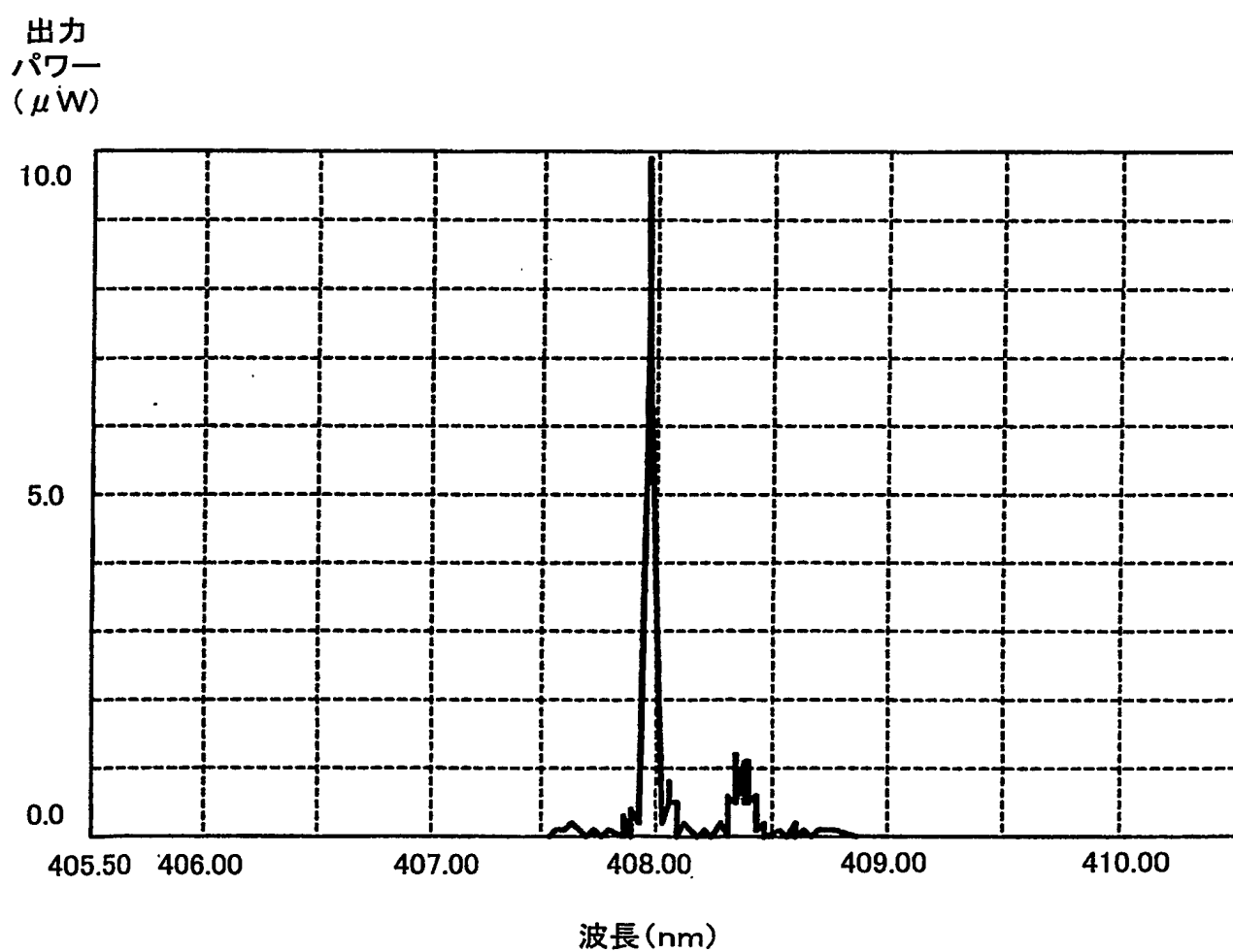
第4図



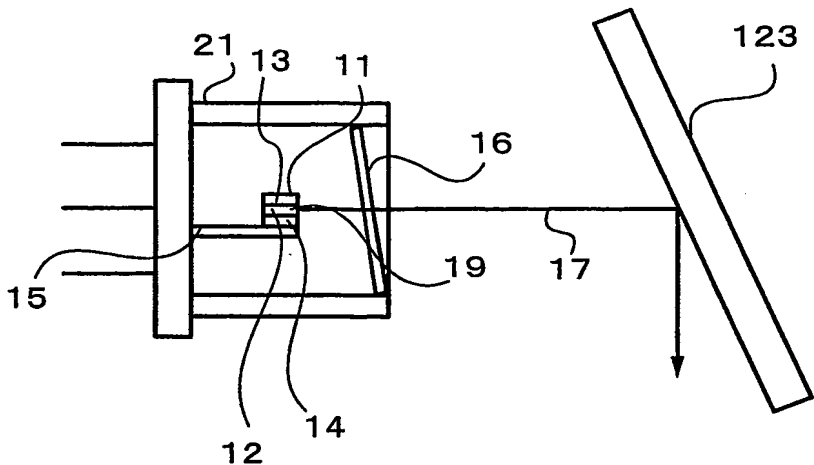
第 5 図



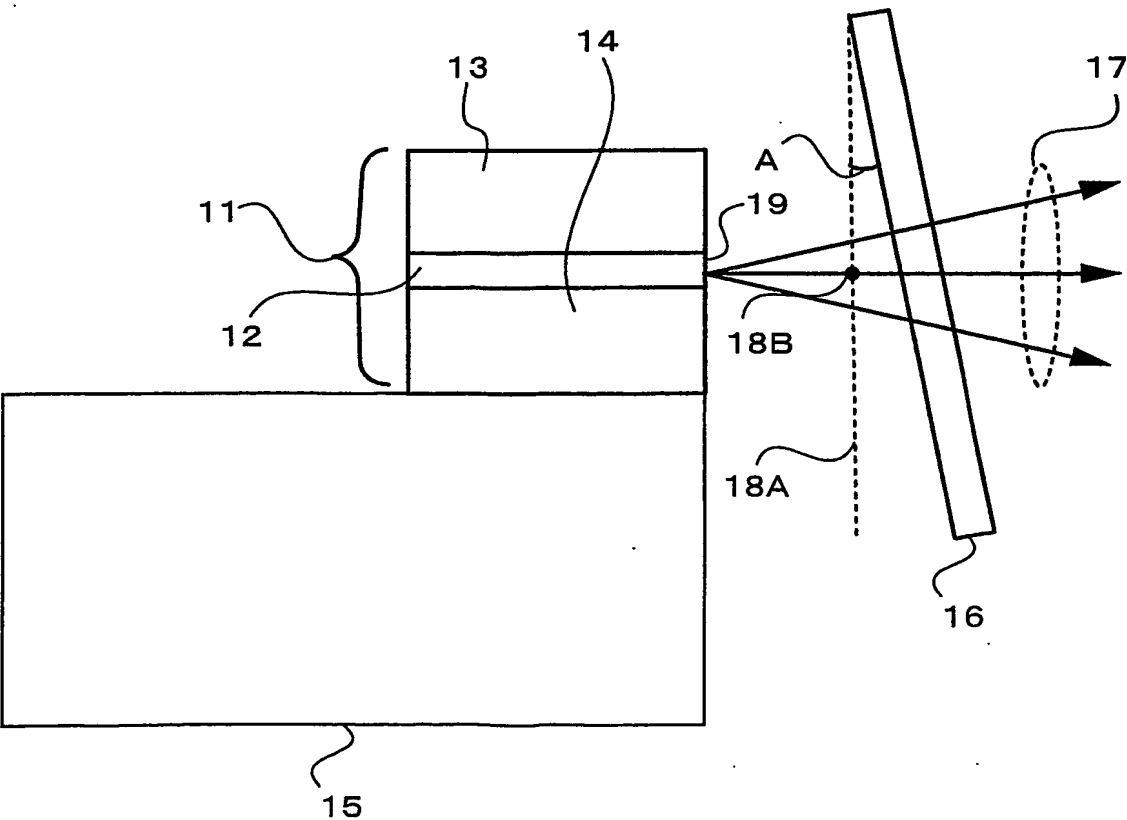
第6図



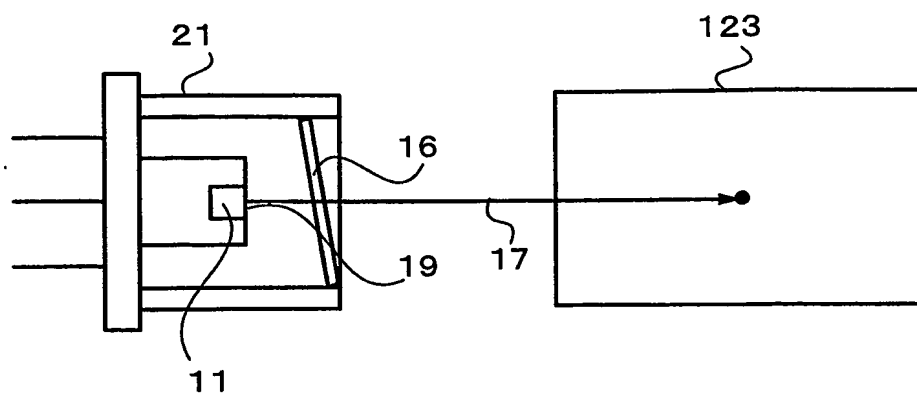
第7図A



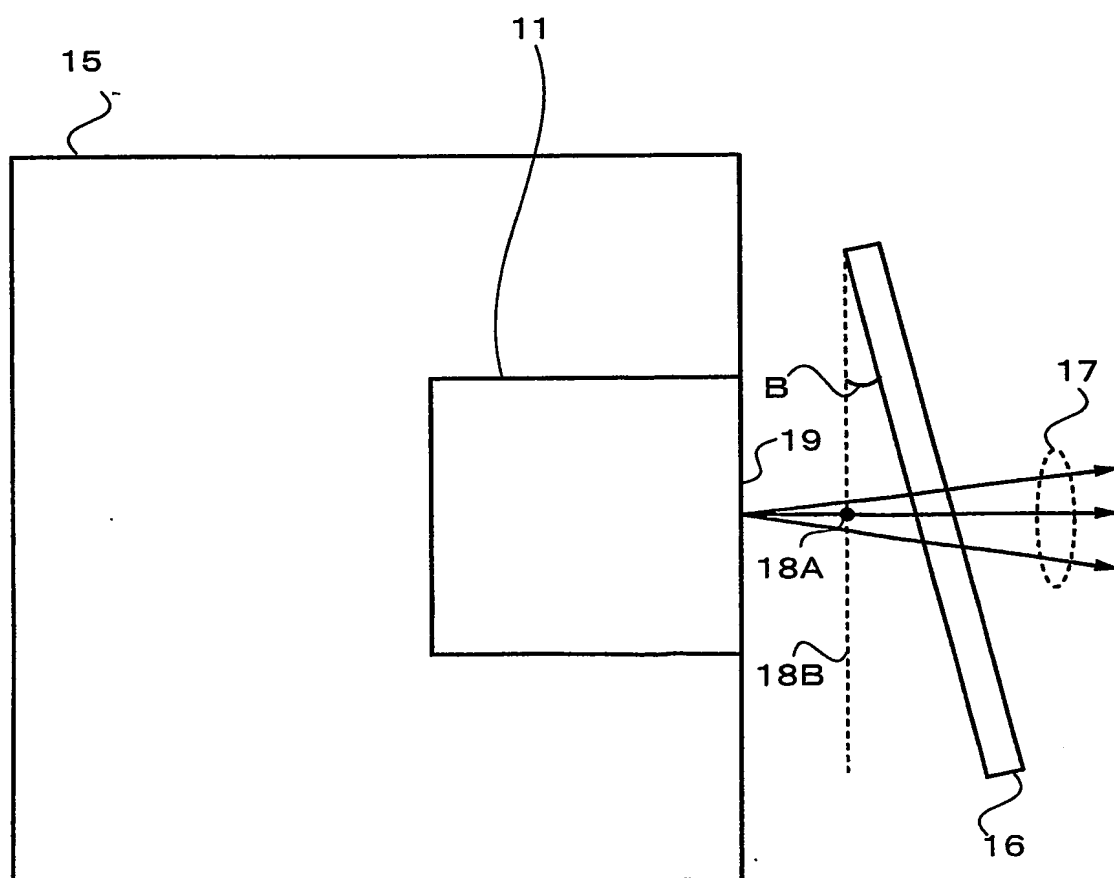
第7図B



第8図A

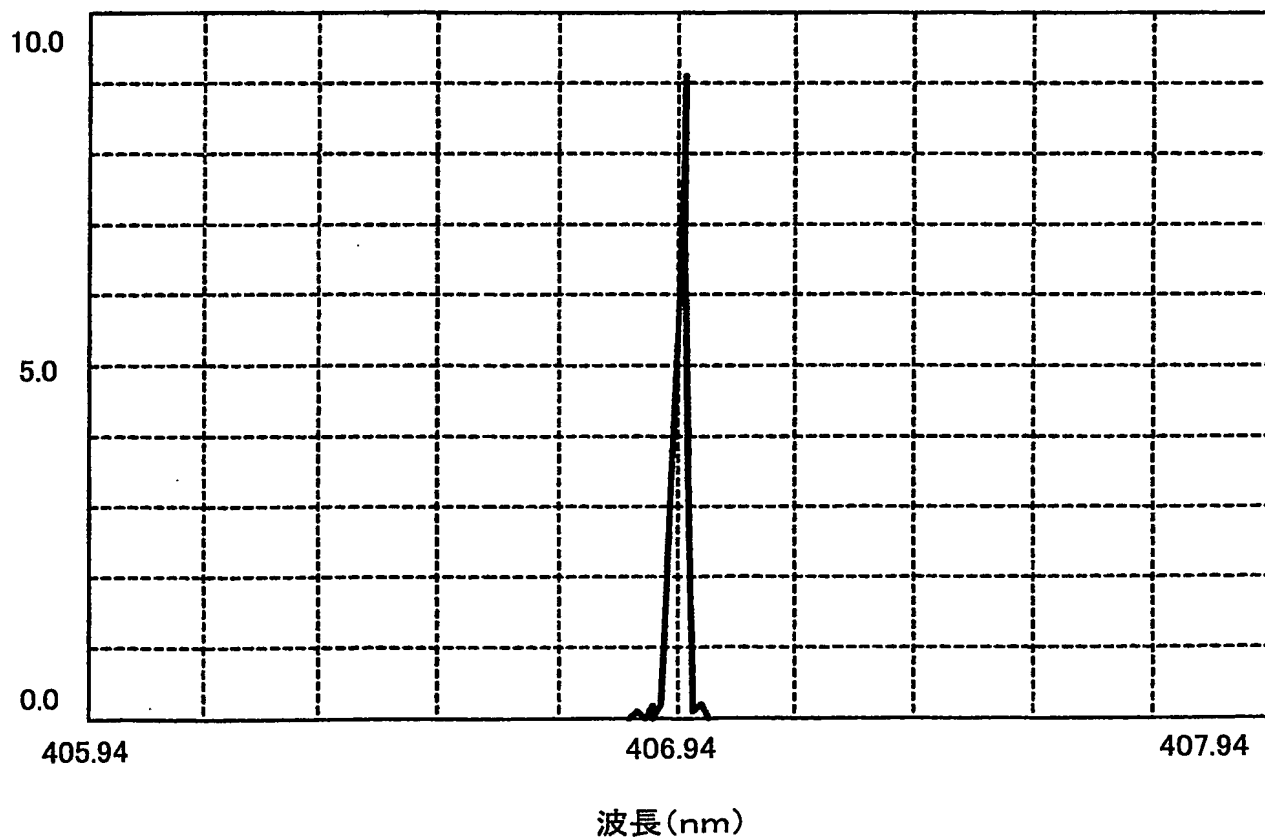


第8図B

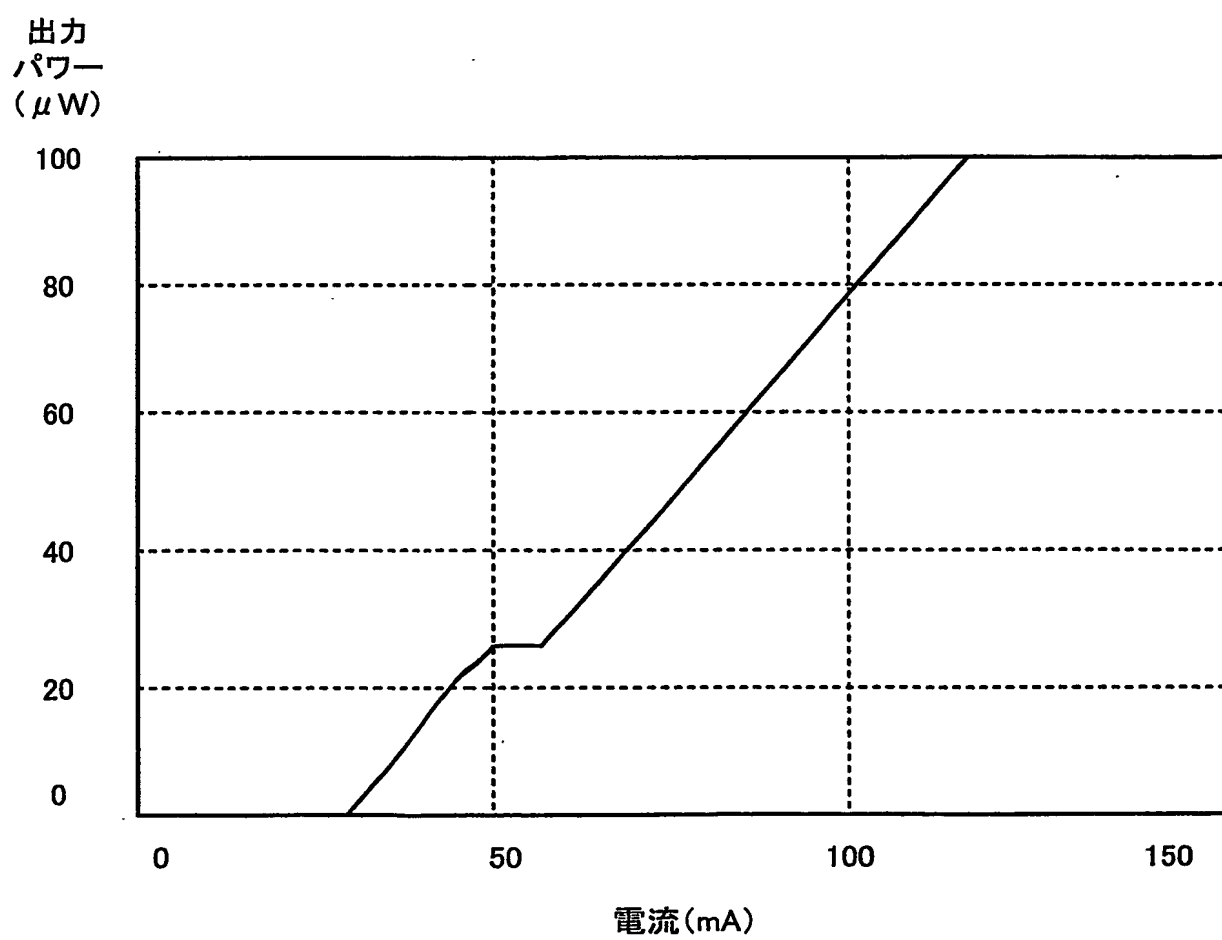


第 9 図

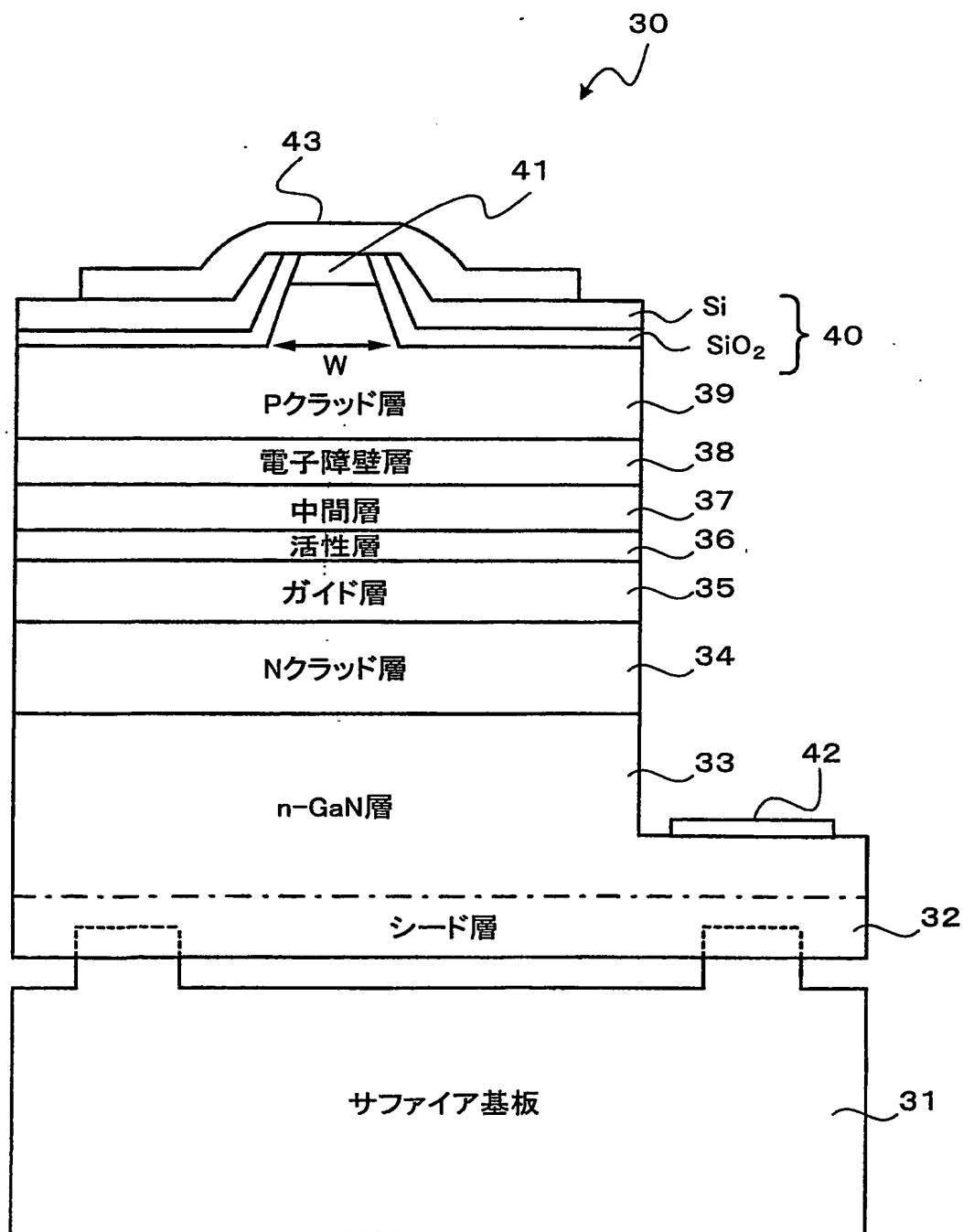
出力
パワー
(μW)



第 10 図



第 1 1 図



符号の説明

- 1 1, 3 0 レーザダイオード
- 1 2, 3 6 活性層
- 1 6 窓ガラス
- 1 7 レーザ光
- 4 0 リッジ側面埋め込み層

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/018101

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01S5/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01S5/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-131583 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 09 May, 2002 (09.05.02), Par. Nos. [0028] to [0037]; Fig. 3 & US 2002/0085596 A1 & CA 2359301 A	1-3, 7-12 5, 6
X Y	JP 2003-283036 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 03 October, 2003 (03.10.03), Par. Nos. [0043] to [0055]; Fig. 1 & US 2003/0128728 A1	1-3, 7-12 5, 6
Y	Takashi MIZUNO et al., "100mW Kink Free, Tei-Aspect-hi Aomurasakihiro Handotai Laser", Proceeding of the 11th Sony Reseaech Forum (2001), pages 201 to 206	5, 6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 February, 2005 (15.02.05)

Date of mailing of the international search report
01 March, 2005 (01.03.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))			
Int. Cl ⁷ H01S5/14			
B. 調査を行った分野			
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))			
Int. Cl ⁷ H01S5/14			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの			
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2004年 日本国登録実用新案公報 1994-2004年 日本国実用新案登録公報 1996-2004年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示		関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2002-131583 A (古河電気工業株式会社) 2002.05.09, 【0028】 - 【0037】 欄, 図3 & U		1-3, 7-12
Y	S 2002/0085596 A1 & CA 2359301 A		5, 6
X	JP 2003-283036 A (古河電気工業株式会社) 2003.10.03, 【0043】 - 【0055】 欄, 図1 & U		1-3, 7-12
Y	S 2003/0128728 A1		5, 6
<input checked="" type="checkbox"/> C 欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 15.02.2005		国際調査報告の発送日 01.3.2005	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 土屋 知久 電話番号 03-3581-1101 内線 3253	

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	水野崇他, 100mWキंकフリー、低アスペクト比青紫色半導体レーザ, Proceeding of the 11th Sony Reseach Forum(2001), p. 201-206	5, 6